

새로운 CAD/CAM 블록의 사용 : PICN and RNC

강릉원주대학교 치과대학 치과보철학교실

고 경 호

ABSTRACT

Novel CAD/CAM hybrid blocks: PICN and RNC

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National university
Kyung-Ho Ko. DDS, Ph.D,

The development of dental materials has widened the scope of materials by changes in processing methods. CAD/CAM processing enables the use of zirconia as a dental material. Recent esthetic materials development has been made. For aesthetic purposes, a block for CAD/CAM processing by mixing polymer and ceramic materials are fabricated. However there is no guideline of how these materials should be used in actual clinical practice. Mechanical properties, wear and clinical studies were reviewed.

Key words : Polymer infiltrate ceramic network, PICN, Resin Nanoceramics, RNC

Corresponding Author

고경호

강릉원주대학교 치과대학 치과보철학교실

E-mail : gimmebab@gwnu.ac.kr

I. 서론

치과의사는 항상 변화하는 재료에 직면하게 된다. 지르코니아의 상용화는 금관 제작에 필요한 치아 삭제 방법을 예전의 개념과 다르게 변화시켰다. 치과에서 사용가능한 재료의 변화는 가공방식에 따라 크게 변화

하게 된다. 치과 치료에서 CAD/CAM가공방식의 도입으로 기존방식으로는 가공할 수 없었던 재료들을 치과에서 사용할 수 있게 되었다. 이로써 기존의 치과 재료와는 다른 수많은 CAD/CAM 가공용 블록들이 개발되고 생산되고 있다. 지금처럼 넘치는 새로운 재료들의 광고 속에서 적절한 재료를 선택하고 도전해보는

것 또한 치과 의사의 필연적 숙명이라고 생각한다. 그러한 상황에서 새롭게 소개되고 있는 폴리머를 이용한 심미적 재료인 polymer infiltrate ceramic network(PICN)와 Resin Nanoceramics(RNC) 두 가지 재료를 소개하고자 한다. PICN과 RNC는 복합레진과 도재를 혼합한 형태의 새로운 재료이다. 표1과 같이 복합레진과 도재는 각 재료의 특성과 단점이 분명하다.

이러한 물성의 차이와 단점을 극복하기 위해 두 개의 재료를 혼합한 PICN과 RNC가 개발되었다.

PICN은 두 개의 재료를 서로 관통하여 만드는 interpenetrating phase composites(IPC)의 일종이다. PICN은 두 단계의 interlocking phases가 있다. 우선 골격이 되는 다공성의 소결전장석계 도재 그물망 형태를 제작하고 결합제로 전처리하여 폴리머와 결합할 수 있게 한다. 그 후 그물망 형태에 모세관현상을 이용해 폴리머를 주입하여 제작하게 되는데 도재와 폴리머의 성질을 모두 가지게 된다. 대표적으로 Vita사의 ENAMIC이 있다.

RNC는 유기 중합체 매트릭스와 무기 필러 입자로 구성되어있는데 무게비의 80%를 차지하는 실리카와 지르코니아 나노입자가 뛰어난 심미성과 물성을 나타내게 한다. 나노 단위의 입자들은 실레인 결합제 처리하여 폴리머매트릭스와 입자 표면이 서로 결합하게 한

다. 즉 필러를 나노 단위의 실리카와 지르코니아 입자들로 교체한 복합레진에 가까운 재료이다. 대표적으로 3M사의 Lava ultimate 가 있다.

II. 연구방법

재료들의 물성에 대한 실험과 임상적 연구를 데이터베이스인 “Pubmed”, “Medline”, 를 이용하여 검색하였으며, 키워드는 “polymer AND infiltrat* AND ceramic”, “Resin AND nano AND ceramic”, “composite AND resin AND crown*”, “CAD/CAM AND resin AND ceramic”를 이용하였다. 선택된 연구는 초록 및 제목, 그리고 내용상 연구목적에 부합되는 것으로 선정하였다.

III. 연구결과

최근까지 연구된 각 재료에 관한 연구논문을 표 2를 통해 정리하였다.

표 1. 복합레진과 도재의 물성 차이

Composite resin	Ceramic restorations
Soft	Brittle
Easier to finish and polish	Prone to fracture
Less wear on opposing dentition	Wear on opposing dentition
Easier to repair	Difficult to repair
Better machinability/ Less chipping rate	More chipping rate
High wear	Wear resistance
Color instability	More esthetic appearance

표 2. 연구목적에 부합되는 논문

분류	제목	저자 및 게재지
PICN 물성	Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material	<i>Bona et al. Dent Mater 2014;30:564-569</i>
	A novel polymer infiltrated ceramic for dental simulation	<i>He et al. J Mater Sci 2013;22:1639-1643</i>
	Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials	<i>Coldea et al. Dent Mater. 2013;29:419-426</i>
RNC 물성	Fracture resistance of computer-aided design/computer-aided manufacturing generated composite resin-based molar crowns	<i>Harada et al. Eur J Oral Sci. 2015;123:122-129</i>
	Fracture strength of CAD/CAM composite and composite-ceramic occlusal veneers	<i>Johnson et al. J Prosthodont Res. 2014;58:107-114</i>
	The fracture resistance of a CAD/CAM Resin Nano Ceramic (RNC) and a CAD ceramic at different thicknesses	<i>Chen et al. Dent mater. 2014;30:954-962</i>
	Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns	<i>Shembish et al. Dent mater 2016;7:499-509</i>
	Influence of abutment design on stiffness, strength, and failure of implant-supported monolithic resin nano ceramic (RNC) crowns	<i>Joda et al. Clin Implant Dent Relat Res 2015;17:1200-1207</i>
PICN과 RNC 물성 비교	Comparative characterization of a novel cad-cam polymer-infiltrated-ceramic-network	<i>Albero et al. J Clin Exp Dent. 2015;7:e495-500</i>
	Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials	<i>Awada et al. J Prosthet Dent 2015;114:587-593</i>
	Grinding damage assessment for CAD-CAM restorative materials	<i>Curran et al. Dent mater 2017;33:294-308</i>
	Influence of thermal cycling on flexural properties and simulated wear of computer-aided design/ computer-aided manufacturing resin composites	<i>Tsujimoto et al. Oper Dent. 2017;42-1:101-110</i>
PICN과 RNC 마모	Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: Two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness	<i>Mormann et al. J Mech Behav Biomed Mater 2013;20:113-125</i>
	In vitro evaluation of the wear resistance of composite resin blocks for CAD/CAM	<i>LAUVAHUTANON et al. Dent Mater J 2015;34:495-502</i>
	Comparative in vitro wear resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic materials	<i>Zhi et al. J Prosthet Dent 2016;115:199-202</i>
PICN과 RNC 표면처리	Effect of surface treatments on shear bond strength of resin composite bonded to CAD/CAM resin-ceramic hybrid materials	<i>Gungor et al. J Adv Prosthodont 2016;8:259-266</i>
PICN과 RNC 연마	Surface evaluation of polishing techniques for new resilient CAD/CAM restorative materials	<i>Fasbinderand Neiva et al. J Esthet Restor Dent 2016;28:56-66</i>
PICN 수리	Effect of surface treatments on shear bond strength of resin composite bonded to CAD/CAM resin-ceramic hybrid materials	<i>Gungor et al. J Adv Prosthodont 2016;8:259-266</i>
RNC 수리	The effect of surface treatments on the bond strength between CAD/CAM blocks and composite resin	<i>Duzyol et al. J Prosthodont 2015;25:466-471</i>
PICN 임상연구	Comparative characterization of a novel cad-cam polymer-infiltrated-ceramic-network	<i>Dirxen et al. Open dententisty journal. 2013;7:118-122</i>
RNC 임상연구	Clinical bonding of resin nano ceramic restorations to zirconia abutments: a case series within a randomized clinical trial	<i>Schepke et al. Clin Implant Dent Relat Res. 2016;18:984-992</i>

IV. 문헌고찰

1. 물성

Bona 등의 연구에 의하면 물질의 취성과 관련한 파괴인성을 보았을 때 PICN의 파괴인성은 도재보다 크고, 레진보다 작은 수치를 보였다. 밀도는 복합레진과 비슷한 수준을 보였으며 도재나 지르코니아와 비교시 낮은 값을 보였다. Poisson ratio는 도재와 비슷하고 복합레진보다 낮다고 보고하였다. 탄성계수는 복합레진보다 크며 도재보다 낮은 값을 가졌다. He 등은 PICN과 자연치와의 상대적 물성차이를 평가하는 연구에서 탄성계수는 자연치의 상아질과 비슷하고, 경도는 법랑질보다 낮으며 상아질보다 높다고 보고하였다. 그리고 파괴인성은 PICN이 상아질, 법랑질보다 낮은 값을 가진다고 하였다.

Harada 등은 크라운 형태로 제작된 RNC의 기계적 성질을 복합레진과 리튬디실리케이트와 비교하였다. 그 결과 굽힘강도, 탄성계수, 파괴인성에서 리튬디실리케이트가 높은 값을 보였으며 RNC는 복합레진과 유사한 수준의 값을 보였다. Johnson 등은 수복물의 두께에 따른 파괴강도를 알아보는 실험을 진행하였다. 이 실험을 통해 복합레진과 비교시 RNC는 0.3mm의 얇은 수복물 두께를 가지고도 구치부 교합력을 견딜수 있는 파괴강도를 가진다고 설명하였다. 그리고 Chen 등은 RNC의 샌드블라스팅 처리로 접착력이 증가하면 파절강도가 증가한다고 하였으며 특히 RNC에서는 두께 증가에 따른 파절강도의 증가가 유의한 차이를 보이지 않는다고 하였다. 그리고 Shembish 등은 상아질의 탄성계수와 유사한 레진으로 제작된 모형상의 실험에서 RNC는 leucite reinforced glass-ceramic보다 높은 강도를 가진다고 보고하였다. Joda 등은 임플란트 지대주에 접착한 RNC 전장관은 임플란트의 변형이 일어나도 파절되지 않는다고 보고하여 RNC의 물성이 뛰어나다고 설명하였다.

Curran 등은 그라인딩 후 재료의 파절 강도를 평

가하였다. 폴리머가 포함된 두 재료 모두 그라인딩 후 파절 강도 감소가 적게 관찰되었다. 이것은 두 재료의 낮은 탄성계수 때문이라고 설명하였다. Tsujimoto 등에 의한 연구에서 열 순환이 두 재료에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. RNC는 열 순환 과정에서 굽힘강도와 탄성의 감소를 보였고 PICN은 유의한 차이를 보이지 않았다.

PICN의 전반적인 기계적 성질은 도재와 복합레진의 중간이라 판단되며, 탄성계수는 상아질 및 접착 시멘트 수준과 유사하여 균일한 응력분산을 기대할 수 있다. 두 재료가 서로 맞물리는 형태로 영여있는 구조를 가지고 있어서 crack tip bridging이나 변형을 통해 균열의 진행을 제한할 수 있다. 그리고 RNC의 기계적 성질은 복합레진과 비슷한 수준을 보였다. 두 재료 모두 임상적으로 사용되는 구치부 수복에 적절한 정도의 기계적 물성을 가진다고 평가하였다. 하지만 모든 실험은 정적 하중에서 진행되었으며 동적인 하중실험은 진행된 바가 없었다. 두 재료 모두 도재의 취성으로 인한 chipping 현상을 줄이기 위해 충분한 연성과 탄성을 가진다. 이러한 성질 때문에 정적 하중 상황에서 충분한 강도가 관찰될 수 있다. 하지만 정적 하중의 실험 방식은 높은 탄성을 가진 두 재료의 동적 하중 상황에서의 변형이나 예상하지 못하는 상황에 대한 평가를 하지 못한다. 재료의 임상적 사용을 고려하기 위해서는 동적 하중 상황에서의 평가가 추가적으로 필요하다.

2. 마모

Mormann 등의 연구와 Zhi 등의 연구 결과를 보면 법랑질과 대합 시, PICN과 RNC는 자연치간 마모와 유의한 차이가 없어 자연치의 마모면으로 보았을 때 긍정적인 재료로 평가된다. 하지만 지르코니아 볼과 대합시켜 마모를 관찰한 Lauvahutanon 등의 연구에서 PICN과 RNC는 다른 레진과 도재 블록보다 더 많은 마모가 관찰되었다. 특히 PICN의 높은 마모가 관찰된다고 보고 하였다. 그리고 Tsujimoto 등의

연구에 의하면 열순환 이후에 RNC는 마모되는 양의 증가가 관찰되었다. PICN은 열 순환 이후에도 마모에 유의한 변화를 보이지 않았다.

마모에 대한 연구결과에서는 두 재료 모두 법랑질과 대합 상황에서 법랑질과 유사한 결과를 보인다고 하였다. 연구결과 두 재료 모두 자연치 마모에 대한 고려가 필요한 상황에서 좋은 재료의 선택으로 평가된다.

3. 표면처리, 수리, 연마

Gungor 등의 연구에서 레진 간의 결합력을 보았을 때 PICN의 경우 샌드블라스팅은 효과가 없었으며, 그라인딩과 불산 처리가 유의하게 결합력을 증가시켰다. 저자는 PICN을 레진으로 수리할 때는 bur로 grinding하거나, 불산 처리하여 표면 거칠기를 증가시킨 후 실레인 적용하는 것을 추천하고 샌드블라스팅은 알루미늄 분말로 인한 오염 때문에 추천하지 않았다. RNC의 경우 샌드블라스팅, 그라인딩, 불산 처리, 실레인처리의 모든 그룹에서 결합력의 유의한 증가를 보였다. 추가적인 실험을 통해 Duzyol 등은 RNC의 수리는 버를 이용하여 그라인딩하고 실레인 처리하여 레진으로 수리하는 것을 추천하였다.

Fasbinderand Neiva 등의 연구에서 두 재료의 표면거칠기를 비교하였는데 RNC보다 PICN이 보다 거친 표면을 가진다고 하였다. 그리고 연마시에 PICN과 RNC 모두 brushing wheel에 연마제를 사용하여 연마하는 것을 추천하였다. 이는 연마용 버를 이용하는 것과 표면의 거칠기 차이가 아니라 보철물의 해부학적 형태를 보존하기 위해서라고 저자는 설명하였다.

두 재료는 레진을 이용한 수리가 가능하였다. PICN은 불산 처리와 실레인 처리를 통해 높은 결합력을 얻을 수 있으며, RNC는 버를 이용한 그라인딩 이후 실레인 처리하여 레진 적용할 것을 추천하였다. 이러한 수리의 가능성은 기존의 치과재료들이 가지지 못한 큰 장점으로 보인다.

4. 임상결과

Dirxen 등은 2013년에 소개한 논문에서 심한 치아부식이 일어난 환자에서 PICN인 ENAMIC으로 수복 후 임상적 효용성에 대해서 평가하였다. 앞서 기계적 성질에서 설명하였듯 PICN은 높은 굴곡강도와 탄성이 있고, 얇게 제작하여도 강도가 높은 장점을 가지기 때문에 수복공간이 극도로 부족했던 환자에서 수복재료로 사용하였다. 보고된 36세 여성의 환자는 위장장애로 인한 심각한 치아부식이 관찰되며 약간의 수직고경 감소가 관찰되는 환자였다. 제한된 수복공간을 이용하여 제1 소구치부터 제1대구치까지 PICN을 이용하여 0.5~1.5mm의 얇은 두께를 가진 전장관을 제작하였고 6개월 뒤 검진 시 성공적인 상태의 수복을 유지하고 있었다. 그리고 저자는 적은 수복공간에서 PICN을 임상적으로 적용하는 것이 가능하다고 보고하였다. 하지만 6개월의 짧은 기간의 검진만으로 장기적인 사용이 목적인 최종보철 재료로 평가하기에는 무리가 있다고 증례의 한계를 서술하였다.

2016년 Schepke 등은 RNC restoration에 대한 무작위 임상 실험을 진행하여 보고 하였다. 소구치 상실 환자에게 임플란트 식립 후 기성 지대주를 25개, 맞춤 지대주를 25개 장착 후 RNC 수복물을 제작하였다. 접착은 MDP가 없는 레진시멘트를 이용하였다. 실험 결과 1년 이내 모든 환자에게서 보철물의 탈락을 보고 하였다. 저자는 이러한 현상에 대하여 시멘트의 영향보다는 교합력에 의한 RNC보철물의 탄성변형이 시멘트층에 영향을 준 것으로 판단된다고 저자는 분석하였다.

임상적용한 몇몇 연구에서는 PICN의 높은 굴곡강도와 탄성은 보철물의 두께를 얇게 제작하여도 구치부 수복을 위한 충분한 강도를 만들어 준다고 하였다. 이러한 특성을 이용하여 PICN을 수복 공간이 부족한 환자에게 사용하는 것을 고려해 볼 수 있다. RNC의 경우에는 전장관으로 사용하는 경우 보철물 탈락을 보고한 경우가 있어 적용에 고려해야 한다. 하지만 새로운 재료를 최종보철물에 사용하기에는 임상적인 평가

기간이 1년 미만으로 짧기에 장기간 사용에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

V. 결론

PICN과 RNC의 물성에 관한 연구결과들을 문항별로 정리해보면 표 3,4와 같다.

표 3. PICN의 물성

파괴인성	Porcelains < PICN < resin-based composites
밀도	PICN ≈ composite < porcelain < zirconia
Poisson's ratio (ν)	PICN ≈ porcelain < composite
탄성계수	PICN ≈ human dentin < human enamel
경도	human dentin ≤ PICN < enamel
그라인딩 작업 이후 chipping damage 적음	
열 순환 이후에도 굽힘강도, 탄성계수가 안정적	

표 4. RNC의 물성

파괴인성	Composite resin ≈ RNC < lithium disilicate
파절강도	RNC, feldspathic ceramics < lithium disilicate
탄성계수	RNC < lithium disilicate
Vickers 경도	PICN, RNC < feldspathic ceramics < lithium disilicate
굽힘강도	feldspathic ceramics < PICN, RNC < lithium disilicate
그라인딩 작업 이후 chipping damage 적음	
열 순환처리가 재료의 굽힘강도, 탄성계수 유의한 영향을 미침	

PICN과 RNC의 기초적인 성질에 대해 알아보았다. 두 재료 모두 충분한 연성과 탄성, 강도를 가진다. 하지만 정적 하중의 실험 방식은 치과재료에 대한 충분한 평가를 내리기에는 부족하다. 안전한 임상적용을 위한 평가를 위해 동적 하중에 대한 평가가 필요하다. 마모에 대한 연구결과에서는 두 재료 모두 임상적으로 좋은 재료의 선택으로 평가된다. 두 재료는 레진

을 이용한 수리가 가능하다. 이러한 수리의 가능성은 기존의 치과재료들이 가지지 못한 큰 장점으로 보인다. 연구결과들을 나열해보면 임상에서 사용하기 충분한 재료로 평가할 수 있지만 안전한 사용을 위해서는 동적 하중 상황이나 장기간의 사용에 따른 평가가 추가적으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Ceci M, Pigozzo M, Scribante A, Beltrami R, Colombo M, Chiesa M, et al. Effect of glycine pretreatment on the shear bond strength of a CAD/CAM resin nano ceramic material to dentin. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2016;8(2):e146-52.
2. Rocca GT, Sedlakova P, Saratti CM, Sedlacek R, Gregor L, Rizcalla N, et al. Fatigue behavior of resin-modified monolithic CAD-CAM RNC crowns and endocrowns. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2016;32(12):e338-e50.
3. Ruse ND, Sadoun MJ. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *Journal of dental research*. 2014;93(12):1232-4.
4. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2014;30(5):564-9.
5. He LH, Purton D, Swain M. A novel polymer infiltrated ceramic for dental simulation. *Journal of materials science Materials in medicine*. 2011;22(7):1639-43.
6. Coldea A, Swain MV, Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2013;29(4):419-26.
7. Harada A, Nakamura K, Kanno T, Inagaki R, Ortengren U, Niwano Y, et al. Fracture resistance of computer-aided design/computer-aided manufacturing-generated composite resin-based molar crowns. *European journal of oral sciences*. 2015;123(2):122-9.
8. Johnson AC, Versluis A, Tantbirojn D, Ahuja S. Fracture strength of CAD/CAM composite and composite-ceramic occlusal veneers. *Journal of prosthodontic research*. 2014;58(2):107-14.
9. Chen C, Trindade FZ, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. The fracture resistance of a CAD/CAM Resin Nano Ceramic (RNC) and a CAD ceramic at different thicknesses. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2014;30(9):954-62.
10. Shembish FA, Tong H, Kaizer M, Janal MN, Thompson VP, Opdam NJ, et al. Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns. *Dental Materials*. 2016;32(4):499-509.
11. Joda T, Huber S, Burki A, Zysset P, Bragger U. Influence of Abutment Design on Stiffness, Strength, and Failure of Implant-Supported Monolithic Resin Nano Ceramic (RNC) Crowns. *Clinical implant dentistry and related research*. 2015;17(6):1200-7.
12. Albero A, Pascual A, Camps I, Grau-Benitez M. Comparative characterization of a novel cad-cam polymer-infiltrated-ceramic-network. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2015;7(4):e495-500.
13. Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2015;114(4):587-93.
14. Curran P, Cattani-Lorente M, Anselm Wiskott HW, Durual S, Scherrer SS. Grinding damage assessment for CAD-CAM restorative materials. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2017;33(3):294-308.
15. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Takamizawa T, Latta MA, Miyazaki M. Influence of Thermal Cycling on Flexural Properties and Simulated Wear of Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing Resin Composites. *Operative dentistry*. 2017;42(1):101-10.
16. Gungor MB, Nemli SK, Bal BT, Unver S, Doğan A. Effect of surface treatments on shear bond strength of resin composite bonded to CAD/CAM resin-ceramic hybrid materials. *J Adv Prosthodont*. 2016;8(4):259-66.
17. Fasbinder DJ, Neiva GF. Surface Evaluation of Polishing Techniques for New Resilient CAD/CAM Restorative Materials. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al]*. 2016;28(1):56-66.
18. Elsaka SE. Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self-adhesive resin cement: the effect of surface treatments. *The journal of adhesive dentistry*. 2014;16(6):531-40.
19. Stawarczyk B, Krawczuk A, Ilie N. Tensile bond

참 고 문 헌

- strength of resin composite repair in vitro using different surface preparation conditionings to an aged CAD/CAM resin nanoceramic. *Clinical oral investigations*. 2015;19(2):299-308.
20. Duzyol M, Sagsoz O, Polat Sagsoz N, Akgul N, Yildiz M. The Effect of Surface Treatments on the Bond Strength Between CAD/CAM Blocks and Composite Resin. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. 2016;25(6):466-71.
 21. Wiegand A, Stucki L, Hoffmann R, Attin T, Stawarczyk B. Repairability of CAD/CAM high-density PMMA- and composite-based polymers. *Clinical oral investigations*. 2015;19(8):2007-13.
 22. Mormann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2013;20:113-25.
 23. Lauvahutanon S, Takahashi H, Oki M, Arksornnukit M, Kanehira M, Finger WJ. In vitro evaluation of the wear resistance of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dental materials journal*. 2015;34(4):495-502.
 24. Zhi L, Bortolotto T, Krejci I. Comparative in vitro wear resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic materials. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2016;115(2):199-202.
 25. Dirxen C, Blunck U, Preissner S. Clinical performance of a new biomimetic double network material. *The open dentistry journal*. 2013;7:118-22.
 26. Schepke U, Meijer HJ, Vermeulen KM, Raghoobar GM, Cune MS. Clinical Bonding of Resin Nano Ceramic Restorations to Zirconia Abutments: A Case Series within a Randomized Clinical Trial. *Clinical implant dentistry and related research*. 2016;18(5):984-92.